

## Werk

**Titel:** Neuere Fortschritte in der Magneto-Optik

**Autor:** Zeeman , P.

**Ort:** Braunschweig

**Jahr:** 1907

**PURL:** [https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?385489110\\_0022](https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?385489110_0022) | LOG\_0303

## Kontakt/Contact

[Digizeitschriften e.V.](#)  
SUB Göttingen  
Platz der Göttinger Sieben 1  
37073 Göttingen

✉ [info@digizeitschriften.de](mailto:info@digizeitschriften.de)

# Naturwissenschaftliche Rundschau.

Wöchentliche Berichte

über die

Fortschritte auf dem Gesamtgebiete der Naturwissenschaften.

XXII. Jahrg.

1. August 1907.

Nr. 31.

## Neuere Fortschritte in der Magneto-Optik.

Von Prof. P. Zeeman (Amsterdam).

(Vortrag <sup>1)</sup>, gehalten am 30. Mai 1906 in der Royal Institution in London.)

Faraday entdeckte die Tatsache, daß die Ebene, in der Lichtschwingungen stattfinden, rotiert, wenn ein Lichtstrahl sich parallel zu magnetischen Kraftlinien in gewissen Substanzen, wie z. B. dem sog. Faradayschen Glase, fortpflanzt. Von dieser Entdeckung an rechnet das Kapitel der Magneto-Optik. Faraday versuchte wiederholt vergeblich, eine Änderung im Spektrum einer Flamme, auf die ein magnetisches Feld wirkte, nachzuweisen. Erst Zeeman fand im August 1896, daß im Spektrum einer Natriumflamme, die sich zwischen den Polen eines Elektromagneten befand, und auf welche das Spektroskop senkrecht zu den magnetischen Kraftlinien gerichtet war, die gelben Linien sich ein wenig verbreiterten, wenn der Magnet geschlossen wurde, d. h., daß eine Flamme im magnetischen Felde außer den ursprünglichen Schwingungen solche von etwas größerer und solche von etwas kleinerer Frequenz emittiert. Bald darauf wurde die Verbreiterung der Spektrallinien auch in der Richtung der Kraftlinien beobachtet. Ferner wurde festgestellt, daß dem direkten Effekt ein umgekehrter entspricht, d. h. die Absorptionslinien, die sich zeigen, wenn weißes Licht glühenden Natriumdampf durchsetzt, werden gleichfalls verbreitert, wenn der Dampf magnetischen Kräften unterworfen wird.

Die bisher besprochenen Beobachtungen stehen ausgezeichnet in Einklang mit der von Lorentz entwickelten Elektronentheorie. Hiernach führen die Elektronen Schwingungen aus, die ihrerseits die Lichtwellen veranlassen.

Von der Periode dieser Schwingungen hängt die Stellung der Spektrallinien ab, und bei jeder Änderung der Periode beobachtet man eine Verschiebung der betreffenden Linien. Magnetische Kräfte können solche Änderungen der Periode hervorrufen; die Lorentzsche Theorie ermöglicht, auf Grund einfacher Annahmen über die Schwingungsart des Elektrons den Zeeman-Effekt in vielen Einzelheiten zu erklären. Erst bei komplizierteren Erscheinungen, wie

<sup>1)</sup> Der erste Teil des Vortrages ist nur im Auszuge wiedergegeben, da über die darin behandelten Erscheinungen schon früher in dieser Zeitschrift berichtet worden ist (Rdsch. 1905, XX, 337).

der Spaltung von Linien in Quartetts und Sextetts, sind weitere Annahmen über die Natur des Elektrons notwendig. Die Lorentzsche Theorie bezieht sich nur auf ein schwingendes Teilchen und kann deshalb nur auf Substanzen von geringer Dichte, die infolgedessen sehr schmale Spektrallinien geben, angewandt werden. Bei größerer Dichte muß der gegenseitige Einfluß der Moleküle aufeinander in Betracht gezogen werden.

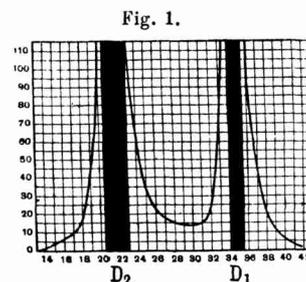
Für den Fall der Absorption ist diese Frage von W. Voigt theoretisch behandelt worden, und diese Theorie veranlaßte eine Reihe experimenteller Untersuchungen, die im zweiten Teile des Vortrages behandelt werden.

Die von Faraday entdeckte Drehung der Polarisationsebene ist wie in allen Gasen, so auch in Natriumdampf außerordentlich klein. Nur in einem sehr schmalen Bereich, in unmittelbarer Nähe der Natriumlinien ist sie, und zwar positiv, sehr groß. Diese Tatsache wurde von Macaluso und Corbino gefunden. In einer neuen sehr interessanten Arbeit hat Prof. Wood Messungen mitgeteilt, bei denen Drehungen von vier ganzen Umdrehungen beobachtet werden. Dies war der Fall in immerhin ziemlich dichtem Dampf, dicht wenigstens im Vergleich mit demjenigen, der bei den hier zu beschreibenden Experimenten benutzt wurde; dieser enthielt etwa  $10^{-8}$  g Natrium im Kubikzentimeter.

Die Größe der Drehung in der Nähe der Natriumlinien wurde von Herrn Dr. Hallo gemessen. Die Drehung erfolgt auf beiden Seiten einer Absorptionsbande in gleichem Sinne (Fig. 1).

Wir verdünnen nun den Dampf weiter, so daß das Doublet in der Richtung der Kraftlinien sichtbar wird. Wie wird dann die Drehung zwischen den Komponenten des Doublets erfolgen?

Aus Prof. Voigts Theorie kann leicht abgeleitet werden, daß in sehr verdünnten Dämpfen die Drehung derjenigen außerhalb der Komponenten dem Sinne nach umgekehrt, und daß sie ebenfalls sehr groß sein muß. Im Falle von Natriumdampf konnte ich dieses Resultat der Theorie bestätigen; ich beobachtete Drehungen von  $-400^\circ$ .



Bei diesen Experimenten wurden Interferenzstreifen im Spektrum benutzt, die mit Hilfe eines Systems von Quarzkeilen hervorgebracht wurden (dieselbe Methode wurde von Voigt, Corbino u. A. in ähnlichen Fällen benutzt). Wird eine Quarzplatte, die die Polarisationssebene dreht, in den Weg der Strahlen gebracht, so bemerkt man eine Verschiebung der Streifen. Eine Verschiebung um einen ganzen Streifenabstand entspricht einer halben Umdrehung der Polarisationssebene. Zerlegt man das Licht mit Hilfe eines Rowlandschen Gitters, so kann man solch ein Streifensystem für alle Wellenlängen herstellen und die Drehung der Polarisationssebene für Wellenlängen in der Nähe der Absorptionsbanden beobachten.

Die vertikalen Linien sind die Natriumlinien, sie sind breit wegen der ziemlich großen Dichte des Dampfes; die Interferenzstreifen laufen horizontal.

Fig. 2 zeigt die Einwirkung des magnetischen

Fig. 2.



Feldes. Man sieht, wie stark die Drehung wächst in der Nähe der Absorptionslinien; unmittelbar an ihnen beträgt sie mehr als  $180^\circ$ . Im Innern der Banden ist nur ein schwacher Streifen zu sehen. Eine Gleichung, die zuerst von Bequerel<sup>1)</sup> abgeleitet wurde, gibt das Gesetz für die Drehung. Die Erscheinung ist schöner, sobald der Dampf so dünn ist, daß das Doublet zu sehen ist (Fig. 3). Außerhalb der

Fig. 3.



Komponenten des Doublets geht der Streifen nach oben, innerhalb nach unten, da hier die Drehung negativ ist. Die Drehung beträgt  $-90^\circ$  für  $D_1$ , annähernd  $-180^\circ$  für  $D_2$ . Es ist interessant, die Bewegung der Streifen zu beobachten, wenn die Feldstärke wächst oder die Dichtigkeit des Dampfes sich ändert.

Wir wollen nun die Doppelbrechung betrachten, welche auftritt, wenn Licht sich durch einen Dampf senkrecht zum magnetischen Felde fortpflanzt. Eine Welle, die parallel zur Richtung des Feldes schwingt, hat eine andere Fortpflanzungsgeschwindigkeit wie eine Welle, deren Schwingungen auf der Richtung des Feldes senkrecht stehen. Nur in der Nähe der Absorptionsbanden wird der Unterschied merkbar. Für Licht in unmittelbarer Nähe der Natriumlinien

<sup>1)</sup> Bequerel, Compt. rend. 1897, 125, 679.

verhält sich Natriumdampf im magnetischen Felde wie ein doppelbrechender Kristall. Dieses Resultat der Voigtschen Theorie wurde von ihm, in Verbindung mit Wiechert, bei dichten Dämpfen bestätigt. Während die Drehung der Polarisationssebene auf beiden Seiten der Absorptionsbande symmetrisch war, ist dies bei der Doppelbrechung nicht der Fall. Auf der einen Seite des Absorptionsstreifens verhält sich Natriumdampf wie ein positiver, auf der anderen Seite wie ein negativer Kristall.

Für den Fall von sehr verdünntem Natriumdampf und einer Feldstärke, die groß genug ist, die Natriumlinien aufzulösen, muß die Theorie erweitert werden. Schwierigkeiten hiergegen liegen nicht vor.

Die Beobachtungen von Herrn Geest und mir selbst, die sich auf die Einzelheiten dieser Doppelbrechung beziehen, haben Voigts Theorie vollständig gestützt<sup>1)</sup>.

Die Linie  $D_2$  spaltet sich in einem mäßig starken Felde in drei Komponenten. Der theoretische Verlauf der Doppelbrechung ist durch ein Diagramm dargestellt; daneben findet sich das Resultat der Beobachtungen. (Fig. 4 u. 5.)

Fig. 4.

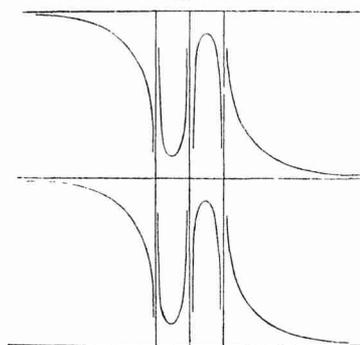


Fig. 5.



Die Linie  $D_1$  spaltet sich in ein Quartett. Außer den konkaven Teilen bemerkt man jetzt einen Umkehrpunkt in den theoretischen und den beobachteten Kurven. (Fig. 6 u. 7.)

Fig. 6.

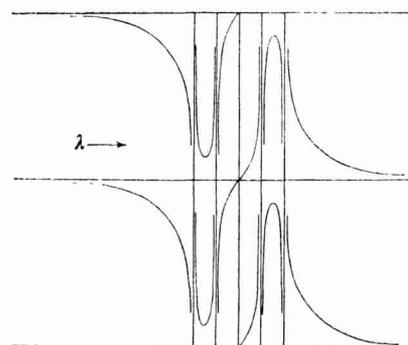


Fig. 7.



Alle diese Phänomene sind qualitativ ausgezeichnet in Übereinstimmung mit der Voigtschen Theorie. Es ist unbedingt sehr interessant, daß die Theorie imstande ist, den komplizierten Verlauf der Doppel-

<sup>1)</sup> Zeeman u. Geest, Proc. Acad. of Sciences, Amsterdam. Mai 1903, Dez. 1904.

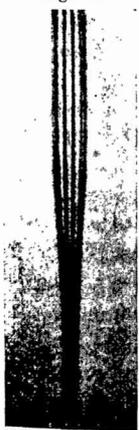
brechung durch die Differenz in der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen senkrecht und parallel zum magnetischen Felde zu erklären.

**Magnetische Auflösung und Feldstärke.** Lassen Sie mich noch einmal zu dem zuerst behandelten Gegenstande, der Trennung der Spektrallinien, zurückkommen. Der Betrag dieser Trennung ist proportional der Stärke des Feldes, in welchem die Lichtquelle sich befindet. Man kann also die Stärke des magnetischen Feldes aus der Größe der Trennung der Spektrallinien ableiten. Man braucht nur den Abstand der Komponenten einer geeigneten Linie zu messen. Es ist nicht allgemein bekannt, daß die Vergrößerung dieses Abstandes sehr genau, etwa auf 1%, gemessen werden kann. Es ist deshalb, wenn ein verhältnismäßig hoher Grad von Genauigkeit nötig ist, viel bequemer, die Feldstärken durch Messungen des Abstandes zwischen zwei Komponenten, als durch direkte magnetische Methoden zu bestimmen.

Alle Methoden, die bei der Messung magnetischer Feldstärken benutzt werden, geben die Intensität an einem Punkte. Dagegen kann uns die Auflösung einer Spektrallinie die Intensität in allen Punkten einer Linie geben. Was noch mehr bedeutet, wir benutzen hierbei direkt eine Eigenschaft des Atoms.

Man projiziert das Bild einer Quecksilbervakuumröhre auf den Spalt eines Spektroskops. Die blaue Quecksilberlinie (4359) wird in ein Sextett aufgelöst. Bei Benutzung dieser Linie wird das Feld eines du Bois'schen Elektromagneten mit 4 mm Polabstand durch Fig. 8 dargestellt. Man könnte natürlich das

Fig. 8.



Licht der inneren Komponenten auslöschen. In manchen Fällen wird ein Triplet genauere Resultate geben. Die beschriebene Methode wird natürlich nur in schwierigen Fällen angewandt werden. Solange die Spektroskope von großem Auflösungsvermögen noch ziemlich schwerfällig sind, kann die Methode keine praktische Verwendung finden.

Man könnte mit dieser Methode einige Fragen untersuchen über die Art, in der gewisse Erscheinungen, die die Auflösung begleiten, von der Intensität des Feldes abhängen.

Verhalten verschiedener Linien im magnetischen Felde. In vielen Metallspektren kommen Gruppen von Linien vor, die in naher Beziehung zueinander stehen und sog. Serien bilden. Die Gesetze über die Gestaltung dieser Serien sind einfacher als diejenigen, welche auf Schallwellen Bezug haben. Sie tragen einen ganz verschiedenen Charakter. Z. B. nähern sich die Glieder einer jeden Serie einer bestimmten Grenze der Schwingungszahl, während die Zahl akustischer Schwingungen unbegrenzt wachsen kann. Schon meine ersten Messungen zeigten, daß Linien verschiedener Serien sich ganz verschieden

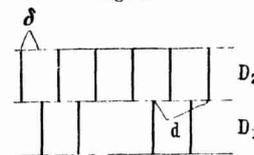
verhalten. Es konnte also das Verhältnis von Ladung zu Masse nicht das gleiche für alle schwingenden Elektronen sein.

Runge und Paschen haben in einer sehr schönen Untersuchung gezeigt, daß alle Linien einer Serie sich gleichartig verhalten. Dieses Resultat wurde zuerst von Th. Preston angedeutet, doch steht nicht fest, bis zu welchem Grade von Genauigkeit und auf wie viele Linien er die Untersuchung ausdehnte.

Alle Linien derselben Serie werden in derselben Art aufgelöst, z. B. alle in Triplets oder alle in Nonets, ja nicht nur der Grundtypus der Spaltung, sondern auch deren Betrag, gemessen in Änderungen der Schwingungszahlen, ist derselbe. Das zweite von diesen Physikern aufgestellte Gesetz besagt: Die korrespondierenden Serien verschiedener Elemente zeigen denselben Typus der Auflösung, und deren Betrag ist der gleiche.

Bei den Alkalien ist jede Linie der Hauptserie doppelt. Die gelben Natriumlinien sind ein typisches Beispiel hierfür. Den Typus der Auflösung einer Doppellinie zeigt Fig. 9. Wir haben es hier mit den Natriumlinien zu tun. Die

Fig. 9.



Linien der in ihrem chemischen Verhalten so verschiedenen Substanzen, wie Natrium, Kupfer, Silber und Calcium, werden in derselben Weise aufgelöst. Ich glaube, daß selbst Sir W. Crookes erstaunt sein würde, wenn er hörte, daß seine Thalliumlinien im magnetischen Felde nur nachgemachte Natriumlinien sind.

Bei Zink, Cadmium, Quecksilber und Calcium haben wir drei erste Nebenserien. Der Betrag der Auflösung ist bei jeder dieser Serien der gleiche. An Quecksilberlinien kann man die Erscheinung des Triplets, des Sextetts und des Nonets zeigen. Ein anderes Beispiel für ein gleiches Sextett bietet eine Zinklinie.

Man sieht, daß in diesen Fällen die einfache Vorstellung eines oszillierenden Elektrons nicht ausreicht. Ich muß leider gestehen, daß die Elektronentheorie bisher keine Erklärung für die komplizierteren Fälle der Auflösung geben kann. Die gefundenen Gesetzmäßigkeiten scheinen aber zu dem Schlusse zu führen, daß alle Linien einer Serie durch ein oszillierendes System hervorgerufen werden, daß also ebensoviele oszillierende Systeme in dem Atom einer Substanz enthalten sind, als ihr Spektrum Serien aufweist; ja, daß der Mechanismus der Oszillation in verschiedenen Elementen derselbe ist. Wir werden hier an die Betrachtungen Sir Norman Lockyers erinnern, die darauf hinzielen, daß die verschiedenen Elemente etwas „Gemeinsames“ enthalten.

Der Zusammenhang zwischen den Spektralserien und der Auflösung im magnetischen Felde ist so auffallend, daß man erwarten darf, daß die Lösung des Serienproblems uns gleichzeitig die Lösung der Fragen über die Trennung der Spektrallinien im magnetischen Felde bringen wird.